نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۳۹۷-۳۸۵

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 385-397

مقاله علمی-پژوهشی

اندازه‌گیری برخی از خصوصیات مکانیکی و شبیه‌سازی خزش ساقه نی با استفاده از مدل برگر

مهدا پور ابوالقاسم[۱]، احمد غضنفری‌مقدم[۲*]، فاطمه مظفری غربا[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

چکیده

ساقه نی به‌دلیل سبک و قوی بودن، از دیرباز در امور صنعتی و ساختمانی مورد استفاده بوده است و اخیراً، با توجه به گرایش به مصالح ساختمانی سبز، این محصول از دیدگاه علمی نیز مورد توجه صاحبان صنایع و پژوهشگران زیست‌محیطی قرار گرفته است. در این پژوهش به‌منظور استفاده بهتر و کاربردی‌تر از نی، خصوصیات مکانیکی و خزشی ساقه نی تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها بر اساس روش فاکتوریل دو عاملی و هر عامل در سه سطح بر پایه طرح کامل تصادفی انجام شد. بدین منظور ساقه نی در سه دسته دو، چهار و شش گره در سه سطح رطوبتی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد دسته‌بندی و خصوصیات مکانیکی آن‌ها شامل مدول الاستیک، چغرمگی و نقطه تسلیم با استفاده از دستگاه اینسترون اندازه‌گیری، تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که مدول الاستیک، نقطه تسلیم و چغرمگی تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره در سطح ۰/۰۱ قرار داشتند. آزمون خزش ساقه‌ها با آویزان کردن وزنه ۱۰ کیلوگرمی روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار خیز و زمان نهایی در سطوح رطوبتی و تعداد گره اثر معنی‌دار دارند ولی دارای اثر متقابل نیستند. داده‌های خزشی (کرنش خمشی-زمان) به مدل برگر با تعداد المان مختلف (سه تا شش المانه) تعمیم داده شد و مشخص گردید که مدل پنج المانه به‌خوبی (R^2>0.97) بیانگر رفتار خزشی ساقه نی هست.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات مکانیکی، رفتار خزشی، ساقه نی، مدل برگر

مقدمه

نی (*Arundo donax* L.) گیاه علفی با ساقه‌ای به طول ۵ تا ۶ متر است که در مناطق گرم و مرطوب جهان روئیده و از آن به صورت سنتی در صنایع دستی نظیر سبد بافی، زنبیل بافی، حصیر بافی و پرده بافی و برای ساخت سقف خانه‌های روستایی و تهیه کاغذ (Lowe *et al.*, 2000) استفاده می‌شود. اخیراً به دلیل سبک و قوی بودن، استفاده از ساقه نی در امور صنعتی مختلف مورد توجه قرار گرفته است، از این جمله می‌توان به استفاده از آن برای تولید پانل‌های دیواری، مواد کمپوزیتی و در تولید صنایع چوبی MDF اشاره کرد. برای استفاده مفیدتر از این محصول در این‌گونه صنایع لازم است خصوصیات مکانیکی ساقه نی مورد بررسی قرار گیرد.

محصولات کشاورزی از هر دو عنصر ویسکوز و الاستیک شکیل شده‌اند، در این حالت ماده خصوصیاتی شبیه جامد و مایع را با هم دارد که این خاصیت را ویسکوالاستیک می‌نامند (Nadim and Ahmadi, 2016). خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی به مقدار وسیعی تحت مطالعه قرار گرفته است و نشان داده شده است که این خصوصیات تحت تاثیر عواملی چون رطوبت محصول (Esehaghbeygi *et al.*, 2009)، زمان برداشت (Hoseinzadeh and Shirneshan, 2012) و شرایط رشد و نگهداری قرار می‌گیرند، که در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در پژوهشی خصوصیات مکانیکی ساقه گندم تحت تأثیر رطوبت و ارتفاع برش به‌منظور برداشت مکانیکی ساقه گندم بررسی شد و نتایج نشان داد که خصوصیات مکانیکی این محصول تحت تأثیر رطوبت و ارتفاع برش قرار می‌گیرد (Galedar *et al.*, 2008).

همچنین خصوصیات مکانیکی ساقه کلزا را به‌منظور تعیین نیروی برش در زمان برداشت و فرآوری و همچنین به‌منظور استفاده صنعتی مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که این خصوصیات تحت تأثیر عوامل رشد مانند دوره آبیاری، گونه و مقدار کود نیتروژن قرار می‌گیرند (Hoseinzadeh and Shirneshan, 2012). یکی دیگر از دلایل اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی ساقه برای طراحی و بهینه‌سازی دستگاه برش ساقه است. به‌عنوان مثال در یک پژوهش خصوصیات مکانیکی ساقه یونجه را تحت تأثیر رطوبت و قطر ساقه مورد مطالعه قرار گرفت و تنش خمشی، مدول یانگ و تنش برشی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که این فاکتورها به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر رطوبت قرار می‌گیرند (Galedar *et al.*, 2008).

قطر ساقه نی (*Arundo donax* L.) با افزایش ارتفاع به‌تدریج کم می‌شود و این کاهش قطر بر برخی از خصوصیات مکانیکی ساقه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- استاد بخش مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳- دانشجوی دکترا مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: Email: Aghazanfari@uk.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v11i2.80688

نی تاثیر می‌گذارد. در یک مطالعه خصوصیات مکانیکی نی با قطرهای مختلف شامل مدول الاستیک و مدول برشی مورد بررسی قرار داده شد و نشان داده شد که با افزایش قطر مقدار مدول الاستیک و مدول برشی افزایش یافت (Spatz *et al.*, 1995). همچنین در تحقیق دیگر این پارامترها روی بافت نی بررسی شد و تعیین گردید که پوشش بیرونی نی سخت‌تر از پارانشیم داخلی بافت نی است (Spatz *et al.*, 1997).

در پژوهشی ساقه بامبو با چوب صنوبر و چوب راش، به‌منظور کاربرد بهتر در مصالح ساختمانی و صنعت، مقایسه شد. برای این منظور آزمون خمش چهار نقطه روی نمونه ها انجام شد و برای مقایسه بهتر خواص این نمونه‌ها از بررسی میکروسکوپی الیاف نمونه‌ها استفاده گردید. نمونه بامبو توانایی خمش در تغییر شکل‌های بزرگ در لایه بیرونی داشت. در کل تفاوت معنی‌داری بین خیز نمونه‌ها مشاهده نشد (Obataya *et al.*, 2007).

ساقه گیاه بامبو که ساختاری مشابه نی دارد مانند ساقه نی یکدست نبوده و دارای چندین گره در راستای طولی می‌باشد که در یک مطالعه اخیراً در کشورهای جنوب شرقی آسیا از بامبو برای مصارف مختلفی شده است. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ساقه این گیاه را در گره و همچنین بارگذاری شعاعی و محوری مورد بررسی قرار گرفت و این خصوصیات با گونه‌ای از چوب کاج که در ساخت مواد کامپوزیت استفاده می شوند، مقایسه شدند. نتایج نشان داد که، خصوصیات مکانیکی و چوب کاج مشابه هستند، همچنین پارامترهای محاسبه شده در گره و میان‌گره متفاوت بودند و مقدار آن‌ها در محل گره‌ها کمتر است (Ahmad and Kamke, 2005).

خواص مکانیکی دو گونه نی، یعنی *Bambusa Pervariabilis* (یا کائو جوئه) و *Phyllostachys Pubescens* (یا مائو جوئه)، که معمولاً در داربست در شرق آسیا جنوبی، به‌طور خاص، در هنگ کنگ و جنوب چین استفاده می‌شود اندازه‌گیری شد. بررسی مقدماتی برای آزمایش تغییرات مقاومت فشاری در برابر خواص مختلف فیزیکی در طول ساقه نی، آزمون خمش و فشار، برای هر دو گونه نی انجام شد. علاوه بر این، سری آزمون نظام‌مند با تعداد زیادی از آزمون فشار و خمش برای ایجاد ارزش ویژگی‌های مقاومت و مدول یانگ هر دو گونه نی برای طراحی ساختاری حالت حدی[1] انجام شد (Chung and Yu, 2002).

محصولات کشاورزی از نوع مواد ویسکوالاستیک بوده و با اعمال نیروی ثابت کرنش آن به‌تدریج افزایش می‌یابد و در نتیجه کرنش وابسته به زمان اعمال نیرو است. خزش[2] و آرامش[3] دو خصوصیت عمده مواد ویسکوالاستیک هستند. استفاده از منحنی مشخصه مواد ویسکوالاستیک و بیان میزان کیفیت یک محصول به‌صورت کم و مدل‌سازی آن یک امر ضروری است. این مدل‌ها، رفتار جسم تحت بار را به‌صورت رابطه ریاضی بیان می‌کنند، این رابطه‌ها قادر به بیان ساختار داخلی جسم نیستند، اما توسط آن‌ها می‌توان خواص ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی و مواد غذایی را تعیین نمود (Diehl and Hamann, 1980; Xu *et al.*, 2008). مدل‌های مختلفی برای بررسی رفتار ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی وجود دارد. برای بیان رفتار ویسکوالاستیک می‌توان از مدل‌های ماکسول، کلوین، زنر (Tagne *et al.*, 2018)، کلوین- ویگات و یا برگر (Hernández-Estrada *et al.*, 2012) استفاده کرد. مدل‌های چند المانه برگر که ساده‌ترین آن‌ها سه المانه می‌باشد، به‌خوبی نشان‌دهنده‌ی رفتار ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی هستند. هرچه تعداد المان‌های این مدل بیشتر باشد، رفتار ویسکوالاستیک محصول بهتر در آن‌ها برازش می‌شود.

خصوصیات ویسکوالاستیک ساقه ذرت با استفاده از آزمون خمش سه نقطه در سه سطح رطوبتی مورد مطالعه قرار گرفت و پارامترها و نمودار ویسکوالاستیکی برای نمونه‌های ساقه ذرت محاسبه و نتایج نشان داد که این تغییرات این پارامترها در سطوح رطوبتی مختلف معنی دار بوده است (Zhong-Zhen *et al.*, 2013).

خصوصیات ویسکوالاستیک بامبو تقویت شده با فیبر، با اعمال بار در طی خزش، سنجش بهتر رفتار ویسکوالاستیکی بارگذاری در سطح بافت بامبو و در دو جهت محوری و شعاعی مورد بررسی قرارگرفت و نتایج با هم مقایسه گردید. نتایج نشان داد که جهت بارگذاری اثر قابل توجهی در هر دو رفتار خزشی و مقاومت باقی‌مانده از شرایط خزشی نمونه، دارد (Gottron *et al.*, 2014). در پژوهشی به‌منظور بررسی رفتار ویسکوالاستیکی نی (*Arundo donax* L.) طی آزمون آرامش مقدار مدول الاستیک در دو سطح محیط خشک و مرطوب اشباع در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. نتایج مدل در طی زمان در مدل ماکسول برازش شد و مشخص شد که این مدل به‌خوبی رفتار ویسکوالاستیکی نی را توصیف می‌کند (Lord Jr, 2003).

گیاه نی جزء گیاهان زینتی به حساب می‌آید و در ایران بیشتر در صنایع دستی و صنعت کاغذسازی مورد استفاده قرار گرفته است. با وجود این‌که ساقه نی تقریباً در تمام نقاط کشور رشد می‌کند ولی تاکنون تحقیقی مبنی بر اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی و ویسکوالاستیکی آن انجام نشده است. این گیاه هنوز در صنعت چندان مورد توجه قرار نگرفته است. هدف از این تحقیق اندازه‌گیری برخی از خصوصیات مکانیکی و ویسکوالاستیکی ساقه نی تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره است. همچنین از مدل چند المانه برگر برای مدل‌سازی کرنش به‌صورت تابعی از زمان استفاده شد.

1- Limit state structural design
2- Creep
3- Relaxation

مواد و روش‌ها

نمونه‌های نی مورد استفاده در تیرماه ۱۳۹۳ از شهرستان جیرفت برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، پوست‌گیری و برای مدت دو هفته در محیط آزمایشگاه پهن گردیده تا رطوبت آن‌ها یکسان شود. سپس ساقه‌های نی را برش داده تا به سه دسته دو گره، چهار گره و شش گره با قطرهای تقریباً مساوی (۲±۲۰) میلی‌متر تقسیم شدند (شکل ۱). دلیل انتخاب دو گره، چهار گره و شش گره به خاطر این است که نقطه بارگذاری روی گره‌ها نباشد و در میان دو گره قرار گیرد. ساقه‌های نی در هنگام برداشت رطوبت‌های مختلفی از ۱۵ تا ۶۵ درصد دارند، برای بررسی سطوح مختلف این رطوبت‌ها، سه سطح رطوبتی ۳۰، ۴۰ و۵۰ درصد انتخاب شد و برای دستیابی به این سه سطح رطوبتی، ساقه‌های هر دسته به سه گروه مساوی تقسیم شدند. گروه اول با همان رطوبت اولیه کنار گذاشته شدند گروه دوم به مدت یک ساعت و گروه سوم به مدت دو ساعت در آب خیس داده شدند تا رطوبت جذب نمایند پس از بیرون آوردن از آب و خشک کردن آب سطحی نمونه‌ها را به مدت یک هفته در کیسه پلاستیکی جداگانه، در یخچال نگهداری شد، تا رطوبت آن‌ها به تعادل برسد، سپس نمونه‌هایی از این دو گروه انتخاب و با استفاده از آون به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۱۰۰°C بر اساس استاندارد ASABE به شماره S358.2 FEB 03 (Lam *et al.*, 2008) تعیین رطوبت شدند و بدین ترتیب آزمایش‌ها بر اساس روش فاکتوریل دو عاملی و هر عامل در سه سطح بر پایه طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. علاوه بر سه سطح رطوبتی ۲۹/۸، ۳۹/۵ و ۵۰/۲ درصد که در این پژوهش مقادیر رطوبت به‌طور تقریبی رطوبت ۳۰، ۴۰ و۵۰ درصد اتلاق می‌شود، تعداد گره، به‌عنوان متغیر مستقل و مدول الاستیک، نقطه تسلیم و چغرمگی و خزش به‌عنوان متغیر وابسته مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱– نمونه ساقه‌های مورد آزمایش : ۱– نمونه دو گره، ۲– نمونه چهار گره، ۳– نمونه شش گره
Fig.1. Samples of giant reed stems under the test: 1: 2-nod, 2: 4-nod, 3: 6-nod

اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی (آزمون خمش)

خصوصیات مکانیکی نمونه‌های نی شامل مدول الاستیک، نقطه تسلیم بیولوژیکی و چغرمگی با آزمون خمش سه نقطه با استفاده از یک دستگاه تست خمش (ساخت شرکت ژاو آریا مشهد) با دقت ۱ نیوتن تعیین گردید. در هر آزمایش نیرو توسط فک بالا با سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه (Hernández-Estrada *et al.*, 2012) به‌طور متمرکز تا لحظه شکست به نمونه وارد شد و خصوصیات مکانیکی ذکر شده از نمودارهای نیرو – جابه‌جایی استخراج گردید. طرحواره‌ی چگونگی اعمال نیرو بر روی نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای محاسبه مدول الاستیک (E) از رابطه (۱) استفاده شد (Allen, 2013).

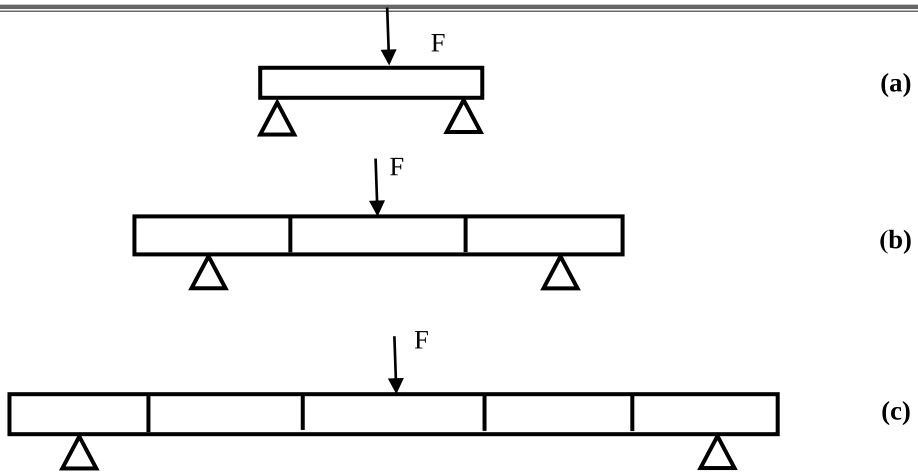
$$E = \frac{mL^3}{12\pi(r_2^4 - r_1^4)} \qquad (۱)$$

که در این رابطه m شیب نمودار نیرو جابه‌جایی، L طول ساقه، r_2 شعاع خارجی و r_1 شعاع داخلی است.

برای تعیین نقطه تسلیم نمودار نیرو– جابه‌جایی برای هر آزمون مورد بررسی قرار گرفت و یک محدوده خطی برای هر نمودار در نظر گرفته شد. از نقاط این خط یک خط رگرسیون عبور داده شد به‌طوری‌که این خط از مبدأ عبور نماید و انتهای این خط بر روی نمودار به‌عنوان نیروی نقطه تسلیم برحسب نیوتن در نظر گرفته شد. با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو– جابه‌جایی و انرژی مصرفی (برحسب ژول) تا نقطه شکست با نرم‌افزار اکسل به‌دست آمد و با تقسیم میزان انرژی شکست بر حجم نمونه مقدار چغرمگی (کیلو ژول بر متر مکعب) محاسبه شد. این مقدار با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$T = \frac{\sum(\sum \Delta f \times \Delta x)/2)}{\pi L(r_2^2 - r_1^2)} \qquad (۲)$$

که در آن F نیروی اعمال شده، x مقدار جابه‌جایی در طی اعمال نیرو، L طول ساقه، r_2 شعاع خارجی و r_1 شعاع داخلی است.



شکل ۲- چگونگی انجام آزمون خمش

Fig.2. Bending test configuration

مدل‌سازی خزش

برای مدل‌سازی خزش در ساقه‌های نی، هر ساقه برش داده شده نی مطابق شکل ۳ تحت آزمون خزش قرار گرفت. در این آزمایش‌ها مقدار خزش D با گذشت زمان مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به این منظور وزنه ۱۰ کیلوگرمی بر روی نمونه‌ها اعمال گردید. میزان خیز تیر در طی زمان اندازه‌گیری شد اعمال نیروی ثابت بر نمونه مطابق شکل ۲ انجام شد. ساقه نمونه تحت اعمال بار با گذشت زمان خیز می‌کند و بعد از مدتی ثابت می‌گردد. در این پژوهش زمان ثابت شدن خیز، زمان نهایی و بیشترین خیز که بعد از دیگر خیز ثابت شده است خیز نهایی در نظر گرفته شده است. این مقادیر تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره اندازه‌گیری شدند. برای بیان مقدار کرنش به‌صورت تابعی از زمان از مدل‌های ۳، ۴ و ۵ المانه برگر استفاده شد که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. در هریک از این شکل‌ها، E_i مدول الاستیک فنر i، μ_i ویسکوزیته دمپر i و تنش اولیه وارده به نمونه که با علامت σ_0 نشان داده شده است. کرنش در هر لحظه برای هر نمونه از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Nikrai *et al.*, 2010).

$$\varepsilon = \frac{6Dw}{L^2} \qquad (۳)$$

که در آن w ضخامت و L طول نمونه مورد آزمایش است. همچنین مقدار تنش خمشی از رابطه (۴) محاسبه شد (Allen, 2013).

$$\sigma_0 = \frac{FLr_2}{\pi(r_2^4 - r_1^4)} \qquad (۴)$$

که در آن F نیروی اعمال شده، L طول ساقه، r_2 شعاع خارجی و r_1 شعاع داخلی است. مقدار کرنش $\varepsilon(t)$ به‌صورت تابعی از زمان برای مدل‌های ۳، ۴ و ۵ المانه برگر به‌ترتیب با استفاده از روابط (۵)، (۶) و (۷) محاسبه می‌شود (Hernández-Estrada *et al.*, 2012).

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\sigma_0}{E_1}\left(1 - e^{-t/\lambda_1}\right) \qquad (۵)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\sigma_0}{E_1}\left(1 - e^{-t/\lambda_1}\right) + \frac{\sigma_0}{\mu_0}\, t \qquad (۶)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\sigma_0}{E_1}\left(1 - e^{-t/\lambda_1}\right) + \frac{\sigma_0}{E_2}\left(1 - e^{-t/\lambda_2}\right) \qquad (۷)$$

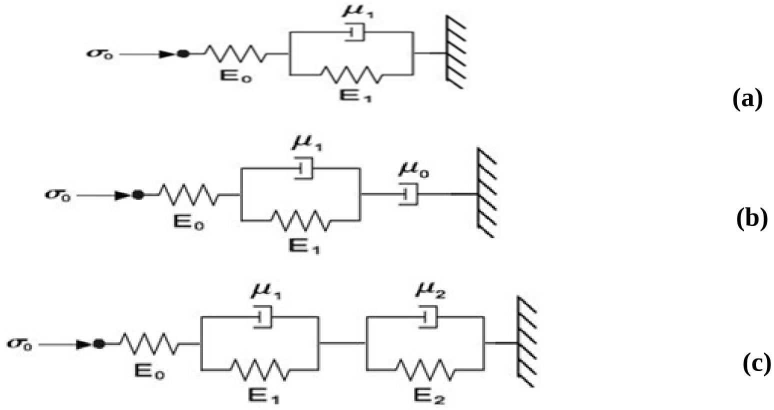
و همچنین مقدار λ_i که بیان کننده زمان تأخیر (زمان مورد نیاز بـرای رسیدن کرنش به (1-1/e) یا ٪ ۶۳/۲۱ از کل کرنش) است، به‌صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{E_i}{\mu_i} \qquad (۸)$$

برای برازش داده‌های خزشی در روابط (۵)، (۶) و (۷) از نرم‌افزار Matlab و جعبه‌ابزار Curve fitting استفاده گردید. آنالیز واریانس خواص مکانیکی مورد بررسی و پارامترهای ویسکوالاستیکی حاصل از مدل، در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تشخیص برازش داده‌ها با بررسی مقدار R^2 با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \hat{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (۹)$$

در این رابطه، n تعداد داده‌ها، مقدار x داده به‌دست آمده از طریق آزمایش (داده تجربی) و $\hat{x}$ داده پیش‌بینی شده از طریق نرم‌افزار و $\bar{x}$ میانگین داده‌ها می‌باشد.



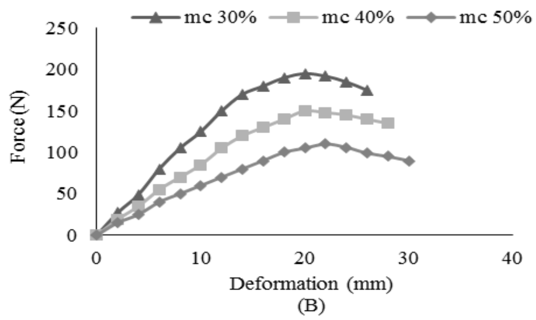
شکل ۳- مدل برگر: (a) سه المانه، (b) چهار المانه و (c) پنج المانه
Fig.3. Buger model (a) 3-Element, (b) 4-Element and (c) 5-Element (10)

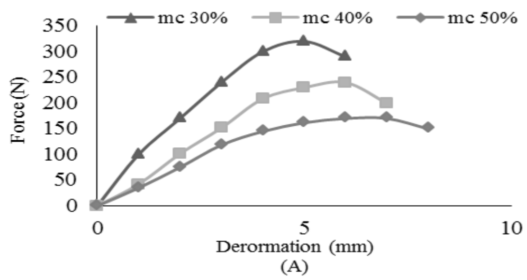
نتایج و بحث

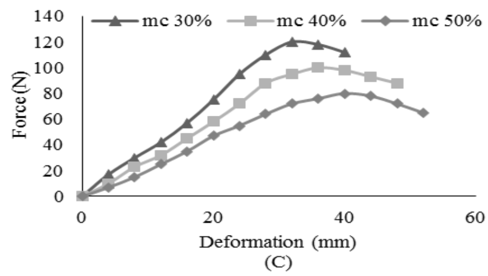
خصوصیات مکانیکی

شکل ۴A نمودار نیرو- جابه‌جایی را برای نمونه با دو گره، در رطوبت‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد این نمودار در آغاز به‌طور خطی تغییر می‌کند نشان‌دهنده‌ی محدوده الاستیک نمودار است و سپس نمودار وارد مرحله پلاستیک می‌شود که آغاز این مرحله نقطه تسلیم بیولوژیکی است که تا اوج که همان نقطه حداکثر مقاومت است ادامه پیدا کرده و بعد در محدوده کاهشی نمودار قرار دارد که این کاهش به علت شکسته شدن نمونه است. در این نمودار محدوده خطی از خیز ۰ تا ۵ میلی‌متر است. با محاسبه شیب این قسمت از نمودار مدول الاستیک به‌دست می‌آید.

شکل ۴B نمودار نیرو- جابه‌جایی را برای نمونه با چهار گره، در رطوبت‌های مختلف نشان داده است. رنج تغییرات این نمودار مانند نمودار دو گره‌ای است و قسمت الاستیک این نمودار از خیز ۰ تا ۱۵ میلی‌متر است. شکل ۴C نمودار نیرو جابه‌جایی را در نمونه شش گره‌ای در رطوبت‌های مختلف نشان می‌دهد. در این نمودار رنج الاستیکی در خیز ۰ تا ۲۳ میلی‌متر است. با محاسبه شیب محدوده الاستیک از نمودار نیرو- جابه‌جایی می‌توان مدول الاستیک را از رابطه (۱) برای نمونه‌ها محاسبه کرد و از نمودار همچنین می‌توان نقطه تسلیم بیولوژیکی را نیز استخراج کرد.







شکل ٤- نمودار نیرو- جابه‌جایی برای A) نمونه دو گره، B) نمونه چهار گره و C) نمونه شش گره‌ای تحت تأثیر رطوبت
Fig.4. Force-displacement graphs for A) 2-nod samples, B) 4-node samples and C) 6-node samples

پارامترهای به‌دست آمده تحت آزمون‌ها شامل مدول الاستیک، نقطه تسلیم بیولوژیکی و چغرمگی محاسبه گردیدند و نتایج آن‌ها در جدول ۱ تحت تأثیر رطوبت آورده شده‌اند.

جدول ۱- مدول الاستیک، نقطه تسلیم بیولوژیکی و چغرمگی محاسبه شده از آزمون خمش

Table 1- The values of elastic module, biological yields point and toughness calculated for the bending test

تعداد گره Number of node	دوگره 2-nod			چهار گره 4-node			شش گره 6-node		
رطوبت Moisture	30%	40%	50%	30%	40%	50%	30%	40%	50%
مدول الاستیک Elastic module	696	616	572	842	750	672	1268	1118	1027
نقطه تسلیم Yield point	250	210	150	170	130	100	105	95	80
چغرمگی Toughness	0.019	0.015	0.013	0.017	0.014	0.012	0.013	0.012	0.01

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مکانیکی آورده شده‌اند. در جدول معنی‌داری نمونه‌ها در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد در کنار هر نمونه مشخص گردید. با توجه به جدول، مدول الاستیک تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره نمونه قرار می‌گیرد و تغییرات این فاکتورها و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر این پارامتر معنی‌دار است. تجزیه واریانس چغرمگی نشان داد که این پارامتر، تحت تأثیر رطوبت در سطح ۰/۰۵ و تعداد گره در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ است ولی اثر متقابل دو فاکتور در سطح‌های مورد بررسی، تاثیری بر این پارامتر ندارد. نقطه تسلیم بیولوژیکی تحت تأثیر فاکتور رطوبت، تعداد گره و اثر متقابل این دو فاکتور است و تغییر این فاکتورها روی نقطه تسلیم نمونه تأثیرگذار است.

جدول ۲- تجزیه واریانس نقطه تسلیم بیولوژیکی، چغرمگی و مدول الاستیک

Table 2- ANOVA test for biological yield point, toughness and elastic module

منبع تغییرات Source of variation	مدول الاستیک Elastic module (MPa^2)	چغرمگی Toughness ($(kJm^{-1}m^{-3})^2$)	تسلیم بیولوژیکی Biological yield (N^2)
رطوبت Moisture	67310**	0.0085807*	52395**
گره‌ها Nodes	526967**	0.00201627**	131536**
اثر متقابل Interaction	7578**	0.0018293ns	61244**

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد، ns غیرمعنی‌دار

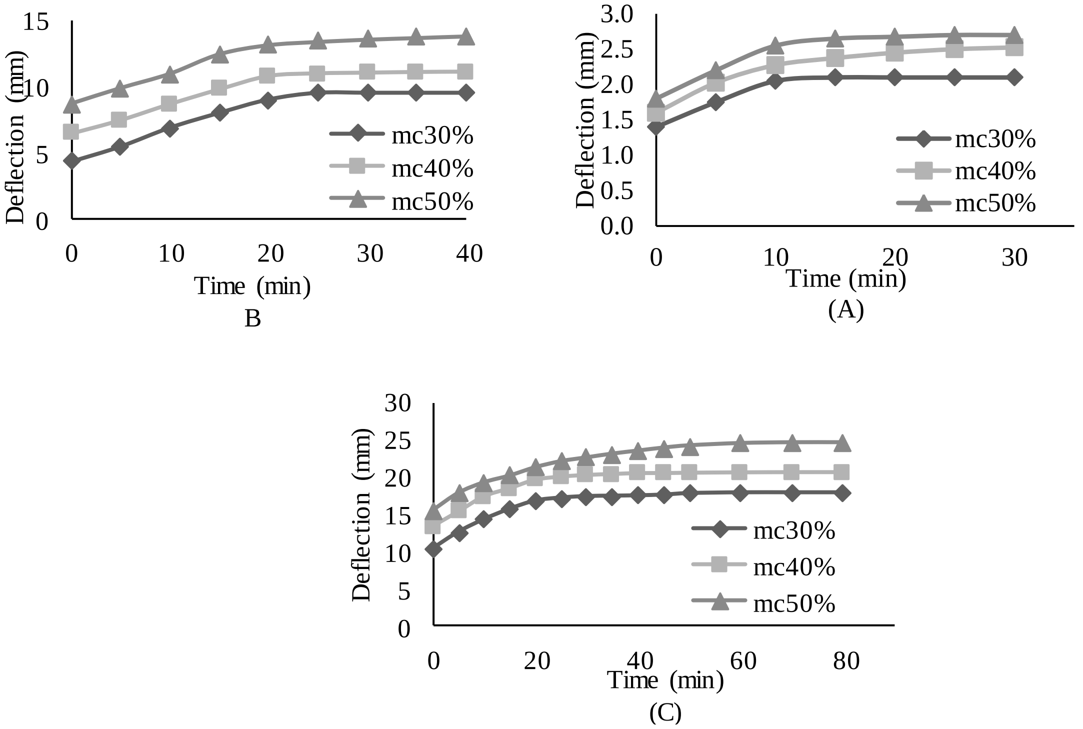
** Significant at 0.01% level, * Significant at 0.05%, ns: not significant

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مقدار مدول الاستیک با افزایش رطوبت کاهش و با افزایش تعداد گره افزایش می‌یابد. با افزایش رطوبت از سختی نمونه کاسته شده در نتیجه مدول الاستیک آن بر اثر شکست سریع‌تر نمونه و کاهش شیب نمودار نیرو-جابه‌جایی کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش تعداد گره در نمونه‌ها، طول افزایش می‌یابد و نمونه در طول خود خیز بیشتری دارد و باعث افزایش مقدار مدول الاستیک می‌گردد. این نتایج برای مقدار نقطه تسلیم بیولوژیکی نشان داد که با افزایش رطوبت و تعداد گره این مقدار دچار کاهش شد. با افزایش رطوبت و تعداد گره سطح زیر نمودار نیرو-جابه‌جایی کاهش یافت، بنابراین مقدار چغرمگی نیز در نمونه‌ها کاهش یافت. این نوع تغییرات به علت افزایش لنگر خمشی که باعث می‌شود نیروی اعمال شده صرف ایجاد خیز در نمونه شود در نتیجه نقطه شکست بیولوژیکی نمونه تحت نیروی کوچکتری ایجاد می‌گردد و همچنین این موضوع بر سطح زیر نمودار نیرو-جابه‌جایی تاثیر می‌گذارد. در طی اعمال بار در نمونه مرطوب، نمونه دچار خیز بیشتری می‌شود در نتیجه سطح زیر نمودار و اولین ترک در طی اعمال بار در نمونه سریع‌تر اتفاق می‌افتد. در این پژوهش رطوبت بر خواص مکانیکی، به‌ویژه چغرمگی تاثیرگذار بوده، ولی بر اساس نتایج بررسی شده بر روی بامبو (Jakovljević and Lisjak, 2019) رطوبت بر برخی از خواص مکانیکی این محصول، به‌جز چغرمگی تاثیرگذار بوده

است. تعداد گره بر روی خواص فیزیکی مانند سایر تحقیقات انجام شده بر روی بامبو، که تعداد و مکان گره‌ها بر خصوصیات مکانیکی آن مانند کشش و فشار تاثیرگذار بوده تاثیر داشت (Oka *et al.*, 2014).

خصوصیات خزشی

شکل ۵A نمودار خیز زمان را در نمونه دو گره‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود این نمودار در آغاز تا دقیقه ۱۵ درحال افزایش است و بعد کم‌کم خیز ثابت می‌گردد، با افزایش سطح رطوبتی خیز نمونه افزایش داشته یعنی مقدار خیز نهایی و زمان نهایی افزایش یافته است. شکل ۵B نمودار خیز زمان را برای نمونه چهار گره‌ای نشان می‌دهد. این نمودار در آغاز با اعمال نیرو بر روی نمونه از لحظه صفر در حال افزایش است و بعد از گذشت حدود ۲۰ دقیقه ثابت می‌گردد. همان‌طور دیده می‌شود که با افزایش رطوبت مقدار خیز نهایی و زمان نهایی افزایش یافته است. در شکل ۵C نمودار خیز-زمان برای نمونه شش گره‌ای در سطوح مختلف رطوبتی نشان داده شده است. این نمودار از آغاز بارگذاری تا دقیقه ۳۰ رنج افزایشی داشته و از آن به بعد تا دقیقه ۸۰ ثابت شده است. همان‌طور که دیده می‌شود مقدار خیز نهایی و زمان نهایی با افزایش سطح رطوبتی، افزایش یافته‌اند.



شکل ۵- نمودار خیز- زمان برای نمونه A) دو گره، B) چهار گره و C) شش گره‌ای تحت تأثیر رطوبت

Fig.5. Deflection-time graph for A) 2-node samples, B) 4-node samples, and C) 6-node samples under various moisture contents

در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس پارامترهای ویسکوالاستیکی آورده شده‌اند. تجزیه واریانس مقدار خیز نهایی نشان می‌دهد که این پارامتر تحت تأثیر رطوبت در سطح ۰/۰۵ و تحت تأثیر تعداد گره در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد است، ولی این پارامتر تحت اثر متقابل این دو فاکتور نیست و همچنین تجزیه واریانس زمان نهایی نشان داد که این پارامتر به خوبی تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره قرار می‌گیرد ولی اثر متقابل این دو فاکتور تاثیری بر این پارامتر ندارد.

مقدار خیز نهایی و زمان نهایی تحت آزمون خزش، با افزایش رطوبت و تعداد گره، افزایش داشت. همان‌طور که در نتایج جدول ۴ مشاهده می‌گردد، افزایش تعداد گره سبب تغییر در میزان پارامترها می‌گردد و این موضوع می‌تواند به علت افزایش طول و افزایش لنگر خمشی طی اعمال بار به نمونه باشد که سبب می‌گردد نیروی اعمال شده صرف ایجاد خیز در نمونه شود در نتیجه نمونه‌های با تعداد گره بیشتر در نتیجه با طول بلندتر که دارای دامنه خیز وسیع‌تری هستند.

جدول ۳- خلاصه نتایج تجزیه واریانس خیز و زمان نهایی

Table 3- Summary of ANOVA test for maximum deflection and final time

منبع تغییرات Source of variation	خیز نهایی Maximum deflection (mm^2)	زمان نهایی Final time (min^2)
رطوبت Moisture	39.36^{*}	844.44^{**}
گره‌ها Nodes	1088.67^{**}	6052.78^{**}
اثر متقابل Interaction	16.97^{ns}	22.22^{ns}

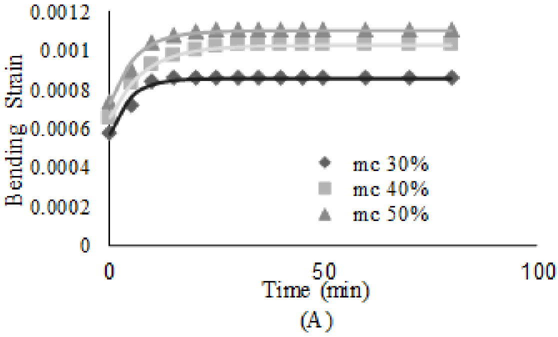
** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد، * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد، ns عدم معنی‌داری

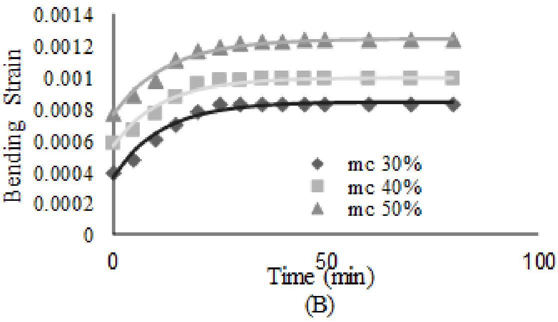
** Significant at 0.01% level, * Significant at 0.05%, ns: not significant

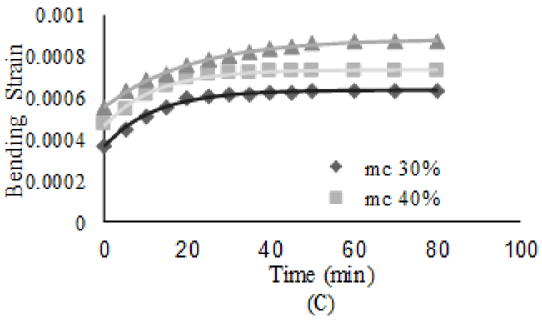
جدول ٤- زمان نهایی و خیز نهایی محاسبه شده از آزمون خزش

Table 1- Maximum deflection and final deflection time for the creep test

تعداد گره Number of node	دوگره 2-nod			چهار گره 4-node			شش گره 6-node		
رطوبت Moisture	30%	40%	50%	30%	40%	50%	30%	40%	50%
زمان نهایی Final time	12.5	22.5	27.5	27.5	37.5	47.5	55	65	75
خیز نهایی Maximum deflection	2.1	2.5	2.7	9	11	13.5	17.8	20.75	42.5







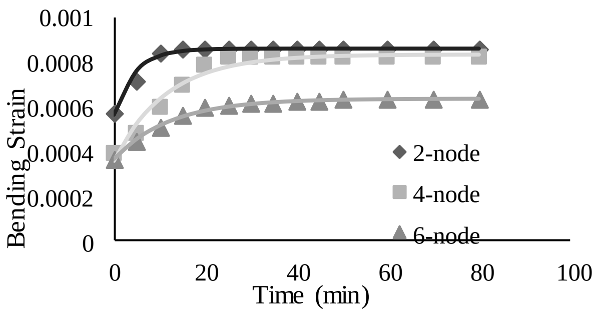
شکل ٦- نمودارهای کرنش خمشی-زمان برای نمونه‌های A) دو گره، B) چهار گره و C) شش گره تحت تأثیر رطوبت

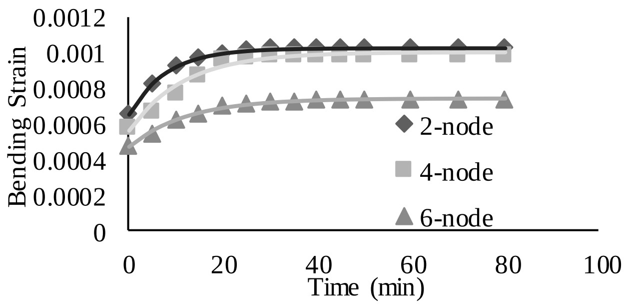
Fig.6. Bending strain-time graph for A) 2-node samples, B) 4-node samples, and C) 6-node samples under various moisture contents

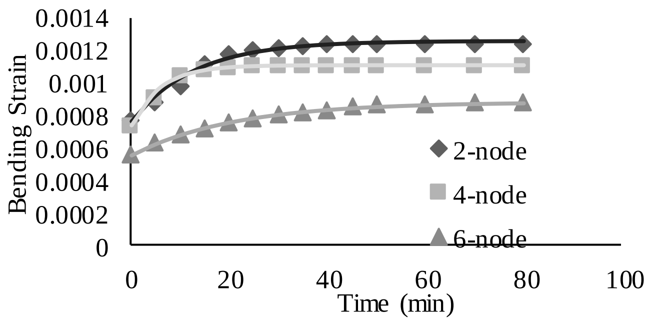
مدل‌سازی خزشی

شکل ۶ برازش مدل پنج المانه برگر را در نمونه‌های نی در تعداد گره و سطوح رطوبتی مختلف نشان می‌دهد. شکل 6A برازش مدل پنج المانه در نمونه دو گره‌ای در سطوح رطوبتی را نشان می‌دهد همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌گردد با افزایش سطح رطوبتی در نمونه‌ها میزان کرنش خمشی در نمونه‌ها افزایش می‌یابد و این موضوع به این علت است که با افزایش رطوبت، از سختی نمونه کاسته می‌شود و نمونه تحت اعمال بار کرنش بیشتری دارد. این تغییرات برای نمونه‌های چهار و شش گره که به‌ترتیب در شکل 6B و 6C نشان داده شده‌اند نیز به همین ترتیب است و با افزایش رطوبت در نمونه‌ها کرنش خمشی در طی زمان اعمال بار افزایش یافت. که این نتایج، با نتایج تاثیر رطوبت بر خواص ویسکوالاستیکی چوب راش، که با افزایش رطوبت خواص ویسکوالاستیکی آن افزایش یافت یکسان است (Hering and Niemz, 2012).

شکل ۷ نمودارهای کرنش خمشی- زمان را در تعداد گره مختلف تحت تأثیر رطوبت نشان می‌دهد. شکل A7 مربوط به نمونه‌های با رطوبت ۳۰ درصد است، همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌گردد نمونه دوگره دارای بیشترین کرنش خمشی است و نمونه شش گره دارای کمترین مقدار کرنش خمشی است. این موضوع به علت این است که رابطه کرنش خمشی و طول نمونه (که با افزایش تعداد گره در نمونه‌ها افزایش می‌یابد)، برابر با معکوس مجذور توان است. بنابراین نمونه دو گره که دارای کمترین طول است کرنش خمشی آن از همه نمونه‌ها بالاتر می‌شود. همچنین از مقایسه کرنش اولیه نمونه‌ها (نقطه اول نمودار) در تمام نمودارها که طی آن رطوبت افزایش یافته است می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که در رطوبت ۳۰٪ کرنش اولیه نمونه چهار و شش گره تقریباً برابر است و با افزایش رطوبت مقدار کرنش اولیه نمونه چهار گره به نمونه دو گره تبدیل می‌شود.







شکل ۷- نمودار کرنش خمشی-زمان برای نمونه‌های با رطوبت A) ۳۰٪، B) ۴۰٪ و C) ۵۰٪ تحت تأثیر تعداد گره

Fig.7. Bending strain-time graph for A) Sample of 30% mc, B) Sample of 40% mc and C) Sample of 50% mc with different number of node

مدل‌سازی داده‌ها در مدل سه، چهار و پنج المانه انجام شد و بررسی برازش داده‌ها نشان داد که برازش مدل سه المانه در داده‌ها با مقدار R^2، کمتر از ۰/۹۵ و در مدل چهار المانه با R^2 کمتر از ۰/۹۳ بود و همچنین از برازش داده‌ها در مدل پنج المانه مشخص گردید که داده‌ها با R^2 بیشتر از ۰/۹۷ در داده‌ها فیت شدند. نتایج مدل‌سازی و مقدار R^2 نشان می‌دهد، که داده‌ها در مدل پنج المانه به‌خوبی

(R^2>0.97) برازش شدند و پارامترهای ویسکوالاستیکی که همان ثابت‌های معادله مدل هستند برای نمونه‌ها تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره به‌دست آمد و نتایج در جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول ۵- پارامترهای ویسکوالاستیکی حاصل از برازش در مدل پنج المانه برگر

Table 5- Viscoelastic parameters of resulted in fitted data in Burger 5-Element model

تعداد گره Number of node	دوگره 2-nod			چهار گره 4-node			شش گره 6-node		
	سطوح رطوبت Moisture contents (%)			سطوح رطوبت Moisture contents (%)			سطوح رطوبت Moisture contents (%)		
پارامترها Parameters	30%	40%	50%	30%	40%	50%	30%	40%	50%
E_0	5121	2577	1818	14600	11100	11170	8011	9118	8948
E_1	6824	3699	3071	5247	5485	6499	6149	7392	6127
λ_1	6553	3595	2669	5007	5021	5890	5806	6702	5092
E_2	10060	3434	3435	10060	13320	16860	10570	15730	15220
λ_2	4.68	7.28	7.64	14.38	13.25	13.18	11.92	11.58	19
R^2	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99

نتیجه‌گیری

خصوصیات مکانیکی و خزشی ساقه‌های نی تحت تأثیر رطوبت و تعداد گره اندازه‌گیری و مدل‌سازی شد. خصوصیات مکانیکی شامل مدول الاستیک، چغرمگی و نقطه تسلیم برای ساقه‌ها در سه دسته دو، چهار و شش گره در سه سطح رطوبتی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد اندازه‌گیری، تجزیه و تحلیل شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، نقطه تسلیم و مدول الاستیک و چغرمگی نمونه‌ها تحت تأثیر فاکتور رطوبت و تعداد گره قرار گرفت و تغییر این فاکتورها روی این پارامترها در نمونه‌ها تأثیرگذار بود. اثر متقابل رطوبت و تعداد گره بر نقطه تسلیم و مدول الاستیک تاثیرگذار بود ولی بر چغرمگی تاثیری نداشت. مقدار مدول الاستیک با افزایش رطوبت کاهش و با افزایش تعداد گره افزایش یافت. نقطه تسلیم بیولوژیکی با افزایش رطوبت و تعداد گره دچار کاهش شد. با افزایش رطوبت و تعداد گره سطح زیر نمودار نیرو-جابه‌جایی کاهش یافت بنابراین مقدار چغرمگی نیز در نمونه‌ها کاهش یافت.

مدل‌سازی داده‌ها در مدل سه، چهار و پنج المانه برگر انجام شد و بررسی برازش داده‌ها نشان داد که برازش مدل سه المانه در داده‌ها با مقدار R^2 کمتر از ۰/۹۵ و در مدل چهار المانه با R^2 کمتر از ۰/۹۳ بود و همچنین برازش داده‌ها در مدل پنج المانه مشخص کرد که داده‌ها با R^2 بیشتر از ۰/۹۷ در داده‌ها برازش شدند، بنابراین مدل پنج المانه (R^2>0.97) به‌عنوان بهترین مدل برای رفتار نمونه‌ها انتخاب شد.

References

1. Ahmad, M., and F. Kamke. 2005. Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials: physical and mechanical properties. Wood Science and Technology 39: 448-459.
2. Allen, H. G. 2013. Analysis and Design of Structural Sandwich Panels: The Commonwealth and International Library: Structures and Solid Body Mechanics Division. Elsevier.
3. Chung, K., and W. Yu. 2002. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. Engineering Structures 24: 429-442.
4. Diehl, K., and D. Hamann. 1980. Relationship between sensory profile parameters and fundamental mechanical parameters for raw potatoes. Journal of Texture Studies 10: 401-420.
5. Esehaghbeygi, A., B. Hoseinzadeh, M. Khazaei, and A. Masoumi. 2009. Bending and shearing properties of wheat stem of alvand variety. World Applied Sciences Journal 6: 1028-1032.
6. Galedar, M. N., A. Tabatabaeefar, A. Jafari, A. Sharifi, and S. Rafiee. 2008. Bending and shearing characteristics of alfalfa stems. Agricultural Engineering International: CIGR Journal.
7. Gottron, J., K. A. Harries, and Q. Xu. 2014. Creep behaviour of bamboo. Construction and Building Materials 66: 79-88.
8. Hering, S., and P. Niemz. 2012. Moisture-dependent, viscoelastic creep of European beech wood in longitudinal direction. European Journal of Wood and Wood Products 70: 667-670.
9. Hernández-Estrada, Z., J. Figueroa, P. Rayas-Duarte, and R. Peña. 2012. Viscoelastic characterization of glutenins in wheat kernels measured by creep tests. Journal of Food Engineering 113: 19-26.

10. Hoseinzadeh, B., and A. Shirneshan. 2012. Bending and shearing characteristics of canola stem. American-Eurasian journal of agricultural & environmental sciences 12: 275-281.
11. Jakovljević, S., and D. Lisjak. 2019. Investigation into the effects of humidity on the mechanical and physical properties of bamboo. Construction and Building Materials 194: 386-396.
12. Lam, P., S. Sokhansanj, X. Bi, C. Lim, L. Naimi, M. Hoque, S. Mani, A. R. Womac, S. Narayan, and X. Ye. 2008. Bulk density of wet and dry wheat straw and switchgrass particles. Applied Engineering in Agriculture 24: 351-358.
13. Lord Jr, A. E. 2003. Viscoelasticity of the giant reed material Arundo donax. Wood Science and Technology 37: 177-188.
14. Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas, and M. De Poorter. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database. Invasive Species Specialist Group Auckland,, New Zealand.
15. Nadim, Z., and E. Ahmadi. 2016. Rheological properties of strawberry fruit coating with methylcellulose. Journal of Agricultural Machinery 6: 153-162.in farsi
16. Nikrai, J., S. K. Najafi, and G. Ebrahimi. 2010. A comparative study on creep behavior of wood flour-polypropylene composite, medium density fiberboard (MDF) and particleboard. Science and Technology 22: 363-371.
17. Obataya, E., P. Kitin, and H. Yamauchi. 2007. Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber–foam composite structure. Wood Science and Technology 41: 385-400.
18. Oka, G. M., A. Triwiyono, A. Awaludin, and S. Siswosukarto. 2014. Effects of node, internode and height position on the mechanical properties of Gigantochloa atroviolacea bamboo. Procedia Engineering 95: 31-37.
19. Spatz, H.-C., H. Beismann, A. Emanns, and T. Speck. 1995. Mechanical anisotropy and inhomogeneity in the tissues comprising the hollow stem of the giant reed Arundo donax. Biomimetics (USA).
20. Spatz, H.-C., H. Beismann, F. Brüchert, A. Emanns, and T. Speck. 1997. Biomechanics of the giant reed Arundo donax. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 352: 1-10.
21. Tagne, N. S., D. Ndapeu, D. Nkemaja, G. Tchemou, D. Fokwa, W. Huisken, E. Njeugna, M. Fogue, J.-Y. Drean, and O. Harzallah. 2018. Study of the viscoelastic behaviour of the Raffia vinifera fibres. Industrial Crops and Products 124: 572-581.
22. Xu, Y.-L., S.-B. Xiong, Y-.B. Li, and S.-M. Zhao. 2008. Study on creep properties of indica rice gel. Journal of Food Engineering 86: 10-16.
23. Zhong-Zhen, S., J. Huan-Xin, C. He-Ping, Y. Qiu-Sheng, L. Li-Xin, W. Li, and C. Guo-Lin. 2013. The Viscoelasticity Model of Corn Straw under the Different Moisture Contents. Mathematical Problems in Engineering.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 385-397

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۳۹۷-۳۸۵

Measuring Mechanical Properties and Simulating the Creep Behavior of Wild Cane Stem using Burger-Voigt Model

M. Porabolghasem[1], A. Ghazanfari Moghadam[2*], F. Mozafari Ghoraba[3]

Received: 29-05-2019
Accepted: 04-03-2020

Introduction

Knowledge of mechanical and viscoelastic properties of agricultural material will be helpful in the transportation and processing of these materials. Giant reed grass, also known as wild cane, is a tall, perennial, bamboo-like, grass that grows in wet areas. The giant reed grass can flourish in a wide variety of soils, including coarse sands, gravelly soil, heavy clay, and river sediment. This grass attains heights of 7 m and once established the stems can reach a thickness close to 3 cm. The stems of giant reed grass are used for different purposes. Traditionally the stems are used in the villages for fencing, roofing, and producing handcrafts. The modern uses of the giant reed stems include plywood, composites panels and paper production. The giant reed stems are not uniform and are made from many nodes. The number of nodes and the distance between nodes can affect the mechanical properties of the stems. In order to attain a suitable use of the stems in various industries, the physical and mechanical properties of the stems must be determined. Knowledge of mechanical and viscoelastic properties of agricultural material will be helpful in transportation and processing of these materials. The purpose of this research was to determine some relevant mechanical properties of the stems of giant reed grass with different nodes and moisture contents.

Materials and Methods

In this research, different mechanical and viscoelastic tests were performed on the stems of cane at various levels of moisture and number of nodes. The Burger-Voigt model with different number of elements was also used to model the creep behaviors of the stems. The cane stems were cut and divided to three groups of two, four, and six-node stems. The moisture contents of the stems were adjusted to three levels of 30, 40 and 50% (w.b.). After preparing the stems the mechanical tests were performed using an Instron testing machine with a three-point support. The creep tests were done by hanging a 10 kg weight at the middle of each stem. The experiments were done using factorial tests based on completely randomized design. The Young module, toughness, and the yield points of the stems were measured by the three-point method. These parameters were obtained from the stress-strain curves of the three-point compression bending tests. The results showed that the Young module was affected by both moisture and the number of nodes, but there were no interaction effects. The creeps of the stems under 10 kg loading were modeled using 3 to 5 elements Burger-Voigt models. In these models a combination of springs and dashpots are used to represent the stems. The curve fitting was performed using the MATLAB software and the goodness of fitness was verified using the fitted curves and calculating the coefficient of determinations.

Results and Discussion

The results by investigating the graphs and the ANOVA tests showed that the Young module was significantly affected by both moisture and the number of nodes. The obtained Young module for cane stem ranged from 572-1268 MPa. Both yield point and toughness were affected by both moisture and the number of nodes and their values were 65-250 N and 0.016-0.132 $J.m^{-3}$, respectively. The creep test results indicated that the maximum deformation and maximum time for of the interaction of the two factors was insignificant. The maximum deformations ranged from 2.1-42.5 mm, and the maximum time for reaching the final deformation was 12.5-75 minutes for various moistures and the number of nodes combinations and showed that the 5-element Burger was best for explaining the viscoelastic behavior of cane stems (R^2>0.97).

Conclusions

In this research, some mechanical properties of the giant reed grass stems were measured and the creep behavior of the stem was modeled using 3-5 elements Burger-Voigt models. The results indicated a decrease in the Young module of the stems with increase with moisture content and increase in the Young module with

1- M.Sc. student, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2- Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3- PhD student, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: Aghazanfari@uk.ac.ir)

increase in the number of nodes. On the other hand, the elongation of the stems increased with both number of the nodes and the level of moisture. The 5-element Burger-Voigt model was best fitted to the creep data.

Keywords: Burger-Voigt model, Cane stem, Deformation, Mechanical properties, Viscoelastic behavior